



東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo



第8回CMI Symposium
10/23/2020

CMI研究開発の成果について

On the results of CMI R & D

東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

臼杵 年

Hiroshi Usuki



東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo



内容

Contents

・CMI概要

CMI overview

・研究テーマ

Research theme

・研究成果概要

Outline of research results



東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo



CMIとは

- Consortium for Manufacturing Innovation
- Collaborative Research Center for Manufacturing Innovation
(東大生研組織)
Organization of IIS, The University of Tokyo
- NEDO Project

METI/NEDO研究とCMI研究の推移

Trends in METI/NEDO research and CMI research





産学官連携により競争力のある早期製造技術開発を目指す

Efficiently develop aircraft manufacturing technology through industry-academia-government collaboration and maintain the technical advantage of our country

難削材料を安く早く加工する技術課題

High speed and low cost cutting of difficult-to-cut materials

組立作業の自動化課題

Automation of assembly work

- ・難削材料の高速切削加工 CFRP, チタン合金, Al-Li合金
- ・Near net shape 3Dプリント(メタル), 熱間接合, 熱間ストレッチ
- ・ロボット利用技術 ロボット切削, ロボットシーリング

産業界(16社)

Boeing
 三菱重工業
 川崎重工業
 SUBARU
 DMG森精機

徳田工業
 エーシーエム栃木
 丸隆工業
 エヌ・ティー・エス
 KSI
 福田交易
 青山精工
 佐渡精密
 東京貿易テクノシステム

大学

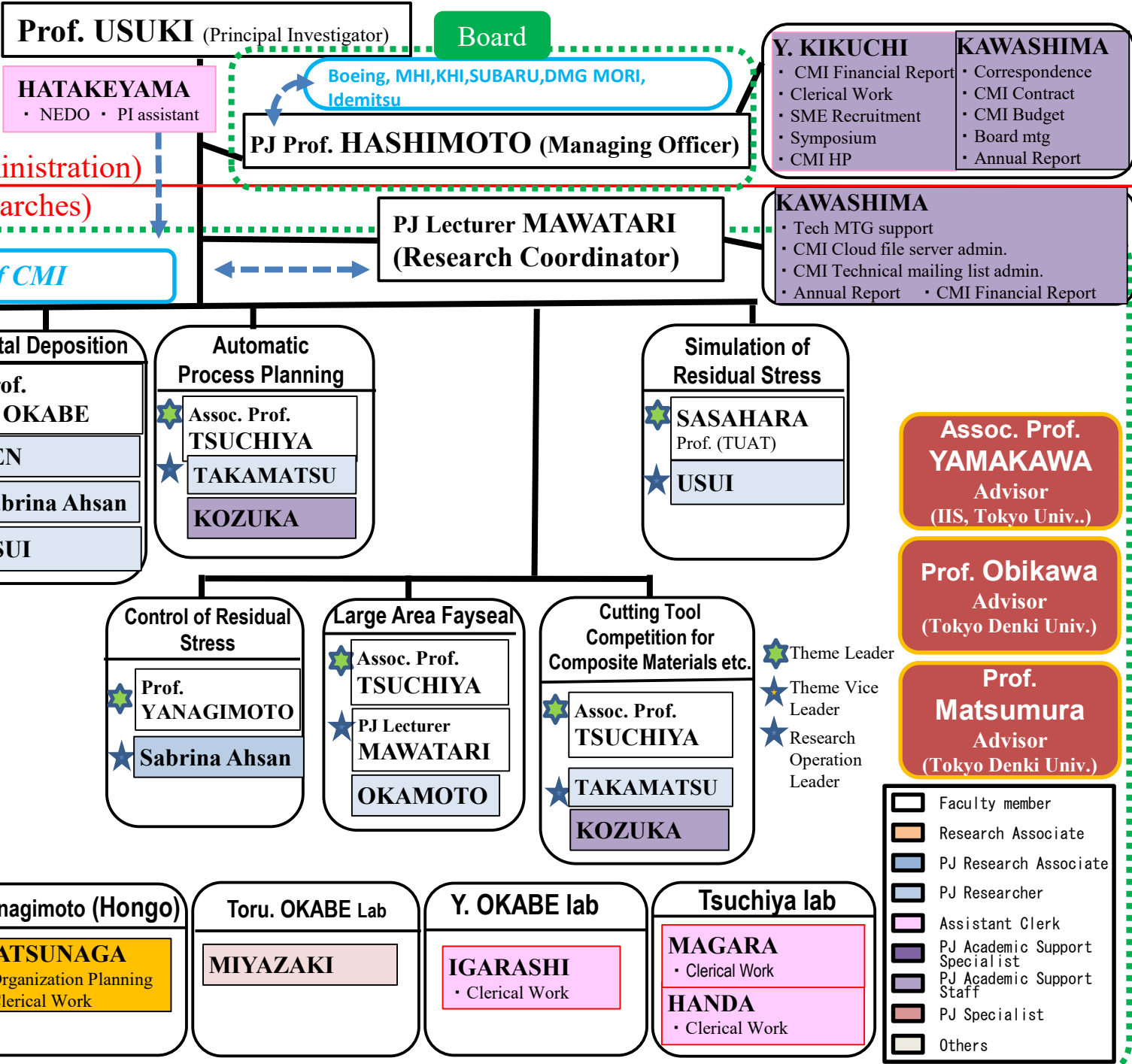
東京大学 生産技術研究所
 東京農工大学
 東京電機大学
 広島大学

官・行政

経済産業省
 製造産業局
 航空機武器宇宙産業課
 NEDO
 材料・ナノテクノロジー部

CMI Organization Chart by Theme

(as of Aug. 1, 2020)



(Clerical work)

USUKI Lab (Kashiwa)

- H.KIKUCHI
• Clerical Work
- OI
• Clerical Work

Yanagimoto (Hongo)

- MATSUNAGA
• Organization Planning
• Clerical Work

Toru. OKABE Lab

- MIYAZAKI

Y. OKABE lab

- IGARASHI
• Clerical Work

Tsuchiya lab

- MAGARA
• Clerical Work
- HANDA
• Clerical Work



研究拠点

Research base

柏地区

Kashiwa campus

- ・切削加工関係研究課題
- ・成型加工関係研究課題

Cutting process relation research

Molding process relation research

駒場地区

Komaba II campus

- ・組立関係研究課題

Assembly Relation Research

委託先 (東京農工大, 東京電機大, 広島大)

Subcontractor

Tokyo University of Agriculture and Technology

Tokyo Denki University

Hiroshima University

- ・残留応力シミュレーション関係課題

およびロボット高精度制御関係課題



東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo



・研究テーマ

Research theme





研究テーマ (FY2019)

- 1. 先進アルミ合金の切削加工技術開発
Machining Technology for Aluminum Alloy
- 2. Al-Li合金切削:機械加工後の歪最小化のための高精度加工技術の開発
Residual Stress Control of Aluminum Alloy
- 3. 炭素繊維複合材の切削加工技術開発
Drillings of CFRP
- 5. ロボット切削システムの開発
Robotic Milling Technology
- 8. 炭素繊維複合材に適した非破壊検査技術の開発 NDI for CFRP
- New 1. チタン合金切削(オービタル穿孔)
Orbital Drilling
- New 2. メタルデポジション Metal Deposition
- New 3. アルミ合金の残留応力・変形制御
Residual Stress Control of Aluminum Alloy
- New 4. フェイシーリング
Robotic Sealing Technology
- New 5. 切削工具コンペ Cutting tool competition

研究テーマ (FY2020)

- 1. 6軸制御の誤差予測(オフライン補正)
Error prediction of 6-axis control (offline correction)
- 2. 三次元位置測定制御技術の基礎的開発(オンライン補正)
Basic development of three-dimensional position measurement and control technology (Online correction)
- 3. 残留応力データ(素材, 加工)の収集と残留応力低減法の開発
Collection of residual stress data (materials, processing) and development of residual stress reduction methods
- 4. 高難易度部材加工プログラムのアルゴリズム提案
Proposal of algorithm for automatic generation of machining program for high difficult-to-cut parts
- 5. メタルデポジション
Metal Deposition
- 6. 大面積ファイシール塗布技術の開発
Development of Large-Area Robotic Sealing Technology
- 7. 複合材等切削コンペ
Cutting tool competition for composite materials etc.
- 8. 技術相談会
Technical Consultations

黄色はNEDOテーマ Yellow shows NEDO Project



研究テーマ (FY2020)

1. 6軸制御の誤差予測 (オフライン補正)
Error prediction of 6-axis control (offline correction)
2. 三次元位置測定制御技術の基礎的開発 (オンライン補正)
Basic development of three-dimensional position measurement and control technology (Online correction)
3. 残留応力データ (素材, 加工) の収集と
残留応力低減法の開発
Collection of residual stress data (materials, processing) and development of residual stress reduction methods
4. 高難易度部材加工プログラムのアルゴリズム提案
Proposal of algorithm for automatic generation of machining program for high difficult-to-cut parts
5. メタルデポジション
Metal Deposition
6. 大面積ファイシール塗布技術の開発
Development of Large-Area Robotic Sealing Technology
7. 複合材等切削コンペ
Cutting tool competition for composite materials etc.
8. 技術相談会
Technical Consultations

ロボット切削技術の 高精度化

High-precision robot cutting technology

そり等の低減

Reduction of warping

加工工程の効率化 (自動工程計画)

Efficiency of the machining process
(Automatic process planning)

自動検査・高速画像処理

Automatic inspection and high-speed image processing

高度自動化工場 Advanced automation plant

・部品加工精度の向上と効率化
Improving the accuracy of part processing and the efficiency of machining process

・需要変動へのフレキシビリティの向上

Increasing manufacturing flexibility for demand fluctuations

組立工程の自動化



東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo



・研究成果概要

Outline of research results



ロボット切削システムの開発

Development of robot cutting system

東京大学臼杵研究室

目的 Purpose

6軸多関節ロボットを用いた新しいシステムの開発
Development of a new system using a 6-axis articulated robot



6軸多関節ロボット
6-axis articulated robot



ミーリングヘッド
Milling head

ロボット切削システムの加工精度を向上し、従来の手法よりコストを削減する

Improve the machining accuracy of the robot cutting system and reduce costs compared to conventional method

内容 Contents

6自由度測定可能なレーザートラッカーによる工具経路の測定と補正
Tool trajectory measurement and correction by 6DoF laser tracker

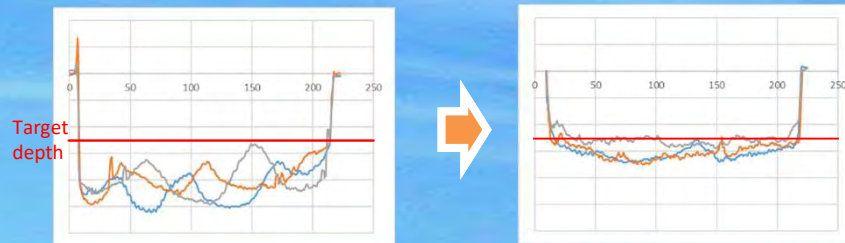


ポケット加工による性能評価
Study of the characteristics of the robot

成果 Achievements

測定と補正による位置精度の向上
Improve position accuracy by correction

開発したオフライン補正システムを利用した際の精度向上例
Example of offline correction effect



ケミカルミリングの代替法としてロボット切削の有効性を提案
Proposal for alternative method of chemical milling

今後の課題 Future tasks

所要の加工精度を達成するためにオンライン補正技術の開発を目指す。
オフライン補正技術とオンライン補正技術の組み合わせによって加工精度を進歩させる。

In order to achieve required processing accuracy, we aim to develop real time correction technology.
Machining accuracy is improved by combining offline correction technology and online correction technology.

残留応力データの収集と残留応力低減法の開発

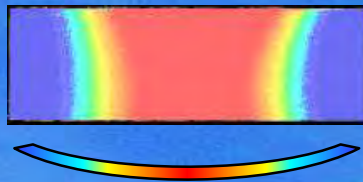


Collection of residual stress data (materials, machining) and development of residual stress reduction method

目的 Purpose

切削加工に起因する残留応力や歪みは、加工条件の選定を複雑にし、加工後に手戻り作業を要する原因となる。この残留応力や歪みを予測、制御するために、**残留応力メカニズムの解明と、残留応力シミュレーション手法の開発**を実施する。

Residual stress and distortion caused by cutting complicate the selection of machining conditions and cause rework after machining. In order to predict and control this residual stress and distortion, we will **elucidate the residual stress mechanism** and **develop a residual stress simulation method**.

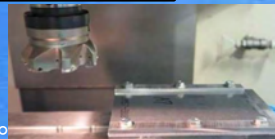


切削加工面の歪み分布の一例
と側方から見た変形のイメージ

FY2019までの成果 Achievements

反転仕上切削とバニシング切削の適用し、**工具形状および加工条件を最適化することで残留応力と加工後の歪みを50%以上低減した。**

By applying reverse finishing and burnishing, and optimizing the tool shape and cutting conditions, residual stress and distortion after cutting have been reduced by 50% or more.



最適化後の加工面の歪み分布の一例

「**振動**」と「**温度**」をキーファクターとした、**素材の残留応力低減手法**について、効果の検証を行い、そのメカニズムを検討した。

Verified the effects of **initial residual stress reduction methods** using "**vibration**" and "**heating**" as key factors, and examined their mechanisms.



加振装置

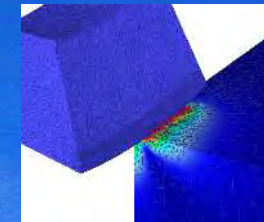


加熱装置

今後へ向けた予備検討(FY2020) Preliminary study

●3次元の残留応力分布を予測可能な残留応力シミュレーション手法を開発

Develop the residual stress simulation method that can predict three-dimensional residual stress distribution. これまでの研究で開発した2次元切削残留応力解析モデルを基に、加工前の応力分布を導入した3次元切削残留応力解析モデルへと拡張する。



3次元切削解析モデル

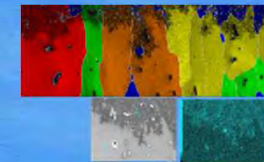
●残留応力データを収集し、残留応力メカニズムを解明

Collect residual stress data (before and after machining) to clarify the residual stress mechanism

(Target: Rolled aluminum alloy material) アルミニウム合金圧延材の切削加工について、加工前後の残留応力分布データを収集し、マイクロ組織を観察することで残留応力発生メカニズムを明らかにする。



X線残留応力測定装置



組織観察

今後の課題 Future tasks

残留応力データ収集・シミュレーション手法開発と「高難度部材加工プログラムのアルゴリズム提案」を合わせて、**最適な加工プログラムを生成する自動化システム**を構築する。By combining this research with the "Proposal of algorithm for automatic generation of machining program for high difficult-to-cut parts", will build an automated system that generates the optimum machining program.

高難易度部材加エプログラムのアルゴリズム提案

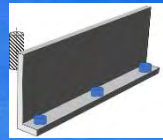
Proposal of algorithm for automatic generation of machining program for high difficult-to-cut parts

東京大学土屋研究室

目的 Purpose

加工の難度判定要素を抽出し、最適加工条件選定手法を確立
Extract cutting difficulty judgment factors and establish the optimum cutting condition selection method

航空機製造は、ローコストオペレーションとして工程自動化と労働人口減少への代替化技術が日本のモノづくり力として求められている。従来、エキスパートシステムなど熟練作業者の技能の取り込みや過去のデータベース化で最適切削条件等を見出すなどの取り組みがあるが実績を超えるような成果を得られず、製造現場では未だに最適化の切削条件の決定には熟練者の経験に頼っている。そのため切削難度判定に関する要素を抽出し、最適切削条件選定する手法の確立を目指す。



As a low-cost operation, aircraft manufacturing is required to have process automation and alternative technology to reduce the working population as Japan's manufacturing capabilities. Conventionally, there have been efforts such as incorporating the skills of skilled workers such as expert systems and finding the optimum cutting conditions by creating a database in the past, but the results did not exceed the actual results, and the cutting conditions are still optimized at the manufacturing site. The decision relies on the experience of an expert. Therefore, we aim to establish a method for selecting the optimum cutting conditions by extracting the elements related to the judgment of cutting difficulty.

目標成果 Goal Achievements

加工難度の判定に関する要素を抽出し、最適切削条件を選定する手法を確立し、熟練作業レベルの最適切削条件を目指す。

We will extract the factors related to the judgment of cutting difficulty, establish a method to select the optimum cutting conditions, and aim for the optimum cutting conditions at the level of skilled workers.

2020年度の成果目標

加工難度を判定する要素の抽出手法を確立する

Achievement target for 2020

Establish a method for extracting elements that determine cutting difficulty

内容 Contents

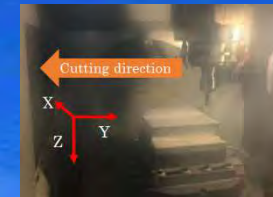
● マシニングセンタでの予備実験

Preliminary Experiment at Machining Center
一定の切削距離を増やしながら、以下の要因項目を確認する。

- (1) 刃先摩耗及び変化
- (2) 切削抵抗
- (3) 切削温度
- (4) 切屑形状
- (5) 切削面

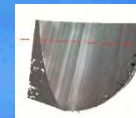
Check the following factor items while increasing a certain cutting distance.

- (1) Cutting edge wear and change, (2) Cutting resistance
- (3) Cutting temperature, (4) Chip shape change, (5) Cutting surface



● 工具刃先に関する観察

Observation of tool cutting edge



ALICONAによる工具刃先観察
Observation by ALICONA 1

切削距離 0m
Cutting distance 0m

切削距離 200m
Cutting distance 200m

高深度顕微鏡 (SEM) による観察
Observation with SEM

予備実験としてエンドミル刃先に関して変化を調査した。僅かな凝着を確認できた。

As a preliminary experiment, changes were investigated for the end mill cutting edge. A slight adhesion was confirmed.

今後の課題 Future tasks

今後、工具刃先評価方法の確立と、工具刃先形状と加工特性の関係を把握してアルゴリズム提案に繋げる。

In the future, we will establish a tool cutting edge evaluation method and understand the relationship between the tool edge shape and machining characteristics, which will lead to the proposal of cutting algorithms.

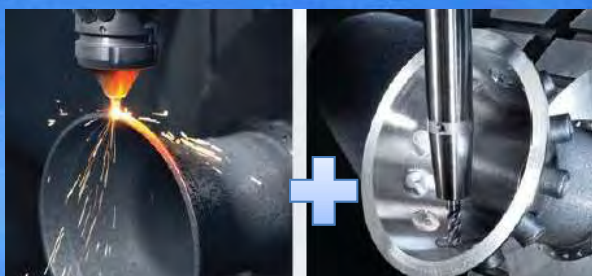
メタルデポジション



東京大学岡部(洋)研究室

目的 Purpose

高機能な治具を短納期・低コストで製造する
Jig manufacturing with low cost and high-performance



金属粉末積層
Metal deposition

機械加工
Machining



実験装置
Experimental equipment

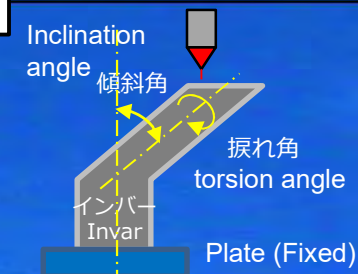
- ・金属積層造形+機械加工を同一の機械で行うことで複雑形状の高精度・高効率加工を実現しコスト削減を図る。
- ・Complex-shaped manufacturing with high precision and efficiency by combining deposition and machining.

Metal deposition

内容 Contents

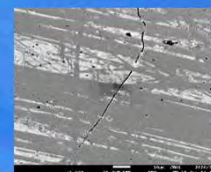
①複雑形状治具の製造のための造形自由度の拡大

Expansion of the freedom degree in fabrication for manufacturing of complex-shaped jig



②造形品質の微視的分析と材料特性の評価

Microanalysis of lamination quality and evaluation of material properties



造形品の断面観察

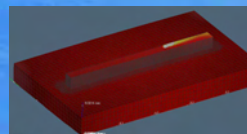
Observation of laminated sample

SEM(走査型電子顕微鏡)やEDS(エネルギー分散形X線分光器)により、積層体の微視的な観察と組織分析を行う。

Microscopic observation and analyses on the lamination by using SEM and EDS.

③数値解析による高精度造形の実現

Numerical analysis for high-precision fabrication



数値解析モデル
Simulation model

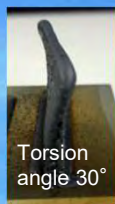
造形物のゆがみを予測し、事前対策することで、低コストで高精度な造形を可能とする。High accuracy predicting method for taking measures to the distortion in lamination leads high-precision fabrication at low cost

成果 Achievements

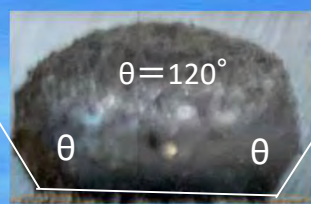
傾斜角と捩れ角の造形を行ない、そのメカニズムを定量的に調べた
The inclination angle and torsion angle were created and the forming mechanism was quantitatively investigated.



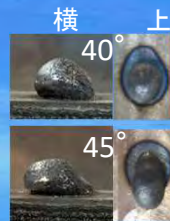
Inclination angle 55°



Torsion angle 30°



接触角(左)と滑落角(右)



横 上

40°

45°

傾斜角と捩り角を持つ積層体
Fabrication with inclination and torsion angles

- ・最大55°の傾斜角を作製でき、その成形条件をまとめた。捩り角に関しては進行中。
The inclination angle could be created up to 55 degrees, and the laminating conditions were clarified. The research on the torsion angle is in progress.

- ・斜め積層のメカニズムを調べるために接触角と滑落角を計測し、最大傾斜角を理論的に推算した

We measured the contact angle and the sliding angle to investigate the mechanism of the tilting lamination and evaluated the theoretical maximum inclination angle.

今後の課題 Next steps

微視的分析に基づいて、傾斜と捩れの複合角での最適成形条件を明確にする。さらに、数値解析との合わせ込みを行ない、複合角を持つデモ金型を作製する。

We will optimize the laminating conditions for combined angles based on SEM and EDS analyses. Then, the demonstration jig which has the combined angles will be laminated with performing numerical analysis.

ロボットシーリング

Robot sealing

東京大学土屋研究室・馬渡研究室

目的 Purpose

シーリングの手作業工程の自動化による高速化と省力化および品質の安定化

Speeding up and labor saving by automating the handling process of sealing and Stabilizing quality



手作業



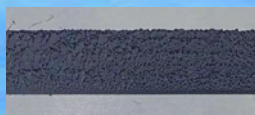
ロボットシーリング

Sealing is a highly-skilled handwork process, and it takes a long time for labors to master the technique. The process is automated by a robot for speeding up, labor saving and quality stabilization.

成果 Achievements

ロボットの適用による、作業時間の短縮および品質の向上と均一化

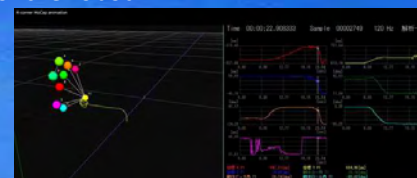
Reduction of working time, improvement of quality and uniformization by application of robot



The automation was done by optimizing nozzle geometries and robot motions for variety sections of workpiece such as flat surface, corner, and fastener.

内容 Contents

- 熟練者の手作業をモーションキャプチャーでデータ化し、解析・評価・最適化し、ロボットの運動に反映
Move hands' motion of experts into data using motion capture. Analysis, evaluation and optimization, reflected in the movement of the robot



モーションキャプチャーによる運動解析 ロボットシミュレーション

- ロボットに特化したシーリングガンの開発
Development of sealing gun specialized for robot



By developing the robot sealing system, the flow rate of sealant has become much more stable than that of conventional sealing guns. The start and end of discharge can be precisely controlled by a robot.

- シーリング形態の異なる、複数種類の部材において自動化を達成
In a plurality of types of members having different sealing forms Achieve automation

今後の課題 Future tasks

更に多くの種類の部材に対して、シーリング作業の自動化を目指す

Aim for automation of sealing work for many kinds of members

切削工具コンペ(複合材用工具ベンチマーク)



Cutting tool competition (Comparison of tool performance) for composite materials and so on

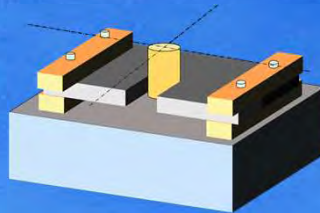
東京大学土屋研究室

目的 Purpose

過去の切削試験の知見に基づき試験を行い、切削工具の特性を評価する

Perform tests based on the knowledge of past cutting tests and evaluate the characteristics of cutting tools

複合材用切削工具は、毎年各社から多くの新工具がリリースされている。ユーザーは、それら工具を用い個別の切削試験を実施し評価している。そのため、各種切削工具について切削実験を行い、その特性を評価する。



As for cutting tools for composite materials, many new tools are released every year by each company. Users perform and evaluate individual cutting tests using these tools. Therefore, cutting experiments are conducted on various cutting tools and their cutting characteristics are evaluated.

目標成果 Goal Achievements

切削試験による工具特性評価
Tool characterization by cutting test

評価内容

- 加工前後の工具を評価(幾何形状測定、観察)
- 加工結果の評価
切削抵抗、切削温度、など

Evaluation contents

- Evaluate tools before and after machining (geometric shape measurement, observation)
- Evaluation of processing results
Cutting force, Cutting temperature, etc.



試験用切削工具
Cutting tool used for testing

内容 Contents

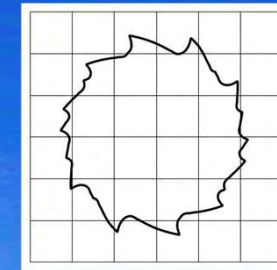
●アリコナによる試験用切削工具の観察

Observation of cutting tools for testing by ALICONA



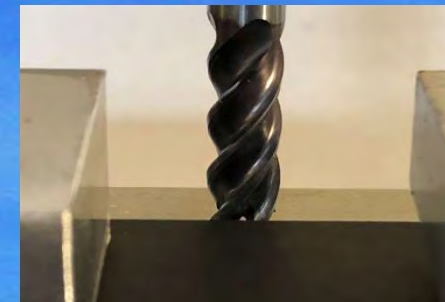
アリコナ観察装置

Alicona Measurement Systems



工具断面図

cross-sectional view



例 複合材のトリム加工

Ex: Trim cutting of composite material with end mill

今後の課題 Future tasks

工具刃先形状評価方法を確立し、工具特性を評価する

Establish a tool edge shape evaluation method and evaluate tool characteristics



東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo



第8回CMI Symposium
10/23/2020

Thank you so much
for your attention

